

**ШУМ ВРД**

**2012**

# ШУМ ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

- 1** Проблема авиационного шума на местности
- 2-3** Физические свойства звукового поля и точечные источники шума
- 4-5.** Пространственно-временные и спектральные характеристики шума самолетов и двигателей. Изотермическая реактивная струя – структура течения, турбулентные и акустические характеристики
- 6-7** Осевой вентилятор – мощность, направленность и спектр акустического излучения. Газогенератор двигателя – энергетические характеристики основных источников излучения
- 8-9** Методы снижения шума ТРДД. Экспериментальные установки для исследования авиационных источников шума.

# Литература по курсу « Шум ВРД»

(1960 – 1975)

- **Е.Я. Юдин «Борьба с шумом». М., 1964**
- **Расчеты и измерения характеристик шума, создаваемого в дальнем звуковом поле реактивными самолетами. Под ред. Л.И. Соркина. М.,1968**
- **Авиационная акустика. Под ред. А.Г. Мунина, В.Е. Квитки. М., 1973**
- **Снижение шума самолетов с реактивными двигателями. Под ред. А.М. Мхитаряна. М., 1975**
- **С.Н. Ржевкин Курс лекций по теории звука. Изд. МГУ, 1960**
- **М.А. Исакович Общая акустика. М., 1973**

## **Литература по курсу « Шум ВРД» (1986 – 2009)**

- Авиационная акустика. Часть 1 «Шум на местности дозвуковых пассажирских самолетов и вертолетов». А.Г. Мунин, В.Ф. Самохин, Р.А. Шипов и др. Под ред. А.Г. Мунина. М., 1986**
- Акустическое управление турбулентными струями. А.С.Гиневский, Е.В.Власов, Р.К. Каравосов. М.: Физматлит, 2001**
- Экологические характеристики двигателей внутреннего сгорания. Глава в монографии «Двигатели внутреннего сгорания», Учебник для вузов/В. Н. Луканин, К. А. Морозов, А. С. Хачиян и др.; Под ред. В. Н. Луканина и М. Г. Шатрова.М.: Высшая школа, 2007**
- Турбулентные и акустические характеристики реактивных струй. Учебное пособие/ В.Ф. Самохин, Л.Л. Картовицкий. Федеральное агентство по образованию. М.: МАИ-ПРИНТ, 2009**
- Шум лопаточных машин ТРДД. Учебное пособие/ В.Ф. Самохин, Л.Л. Картовицкий. Федеральное агентство по образованию. М.: МАИ-ПРИНТ, 2009**
- Шум самолетов и двигателей. Учебное пособие/ В.Ф. Самохин, Л.Л. Картовицкий. Федеральное агентство по образованию. М.: МАИ-ПРИНТ, 2009**
- «Аэроакустика». Сборник. Труды ЦАГИ, вып.2681, 2009**

# Лекция 1

- Проблема авиационного шума на местности
- Нормирование шума самолетов
- Схемы нормирования, единицы оценки и предельно-допустимые уровни шума
- Авиационные и санитарные нормы шума
- Основные нормативные документы
- Методы акустической сертификации ВС
- Сертификационные уровни шума современных пассажирских самолетов

# Немного истории

**XVII век** – начало бурного развития естественных наук

Галилей (1564-1642), Мерсенн (1588-1648), Гассенди (1592-1655),  
Кеплер (1571-1630), Торричелли (1608-1647), Гук (1635-1703 ),  
Ньютон (1643-1727 )

**XVIII век** – Хладни (1756-1827), Френель (1788-1827 ), Фраунгофер (1787-1826),  
Гюйгенс (1629-1695 ), Юнг (1773-1829 ), Эйлер(1707-1783),  
Лагранж (1736-1813 ), Бернулли (1700-1782), Даламбер (1717-1783),  
Лаплас (1749-1827), Фурье (1768-1830)

**XIX век** – Фарадей (1791-1867), Максвелл (1831-1879), Герц (1857-1894), Ом (1789-1854),  
Гельмгольц (1824-1894), Рэлей (1848-1919),

**XX век** - Мандельштам(1879-1944), Ландау(1908-1968) ,

**Аэроакустика** – Андреев (1880-1970), Блохинцев (1908-1979), Гутин , Юдин,.....

# Нормирование авиационного шума

Различают два вида нормирования шума вообще и авиационного шума в частности – санитарное и техническое.

**Санитарное нормирование** призвано защитить людей от вредного воздействия шума. Оно регламентирует интенсивность и другие характеристики, определяющие меру вреда, причиняемого организму человека.

Санитарные нормы устанавливают предельно-допустимые уровни шума в местах присутствия человека – на территории жилой застройки, вблизи санаторных и лечебных учреждений, в общественных местах, на рабочих местах и т.д.

**Техническое нормирование** устанавливает предельные характеристики шума для различных видов транспорта, машин и оборудования. Если санитарные нормы устанавливают необходимую степень ослабления шума, то технические нормы определяют технические возможности ослабления шума.

Ограничение шума воздушных судов на местности осуществляется в области и санитарного, и технического нормирования. При этом санитарные нормы авиационного шума носят характер национальных норм и несколько различаются в разных странах по единицам оценки и предельно-допустимым значениям уровня шума. Технические нормы шума воздушных судов имеют статус как международных, так и национальных.

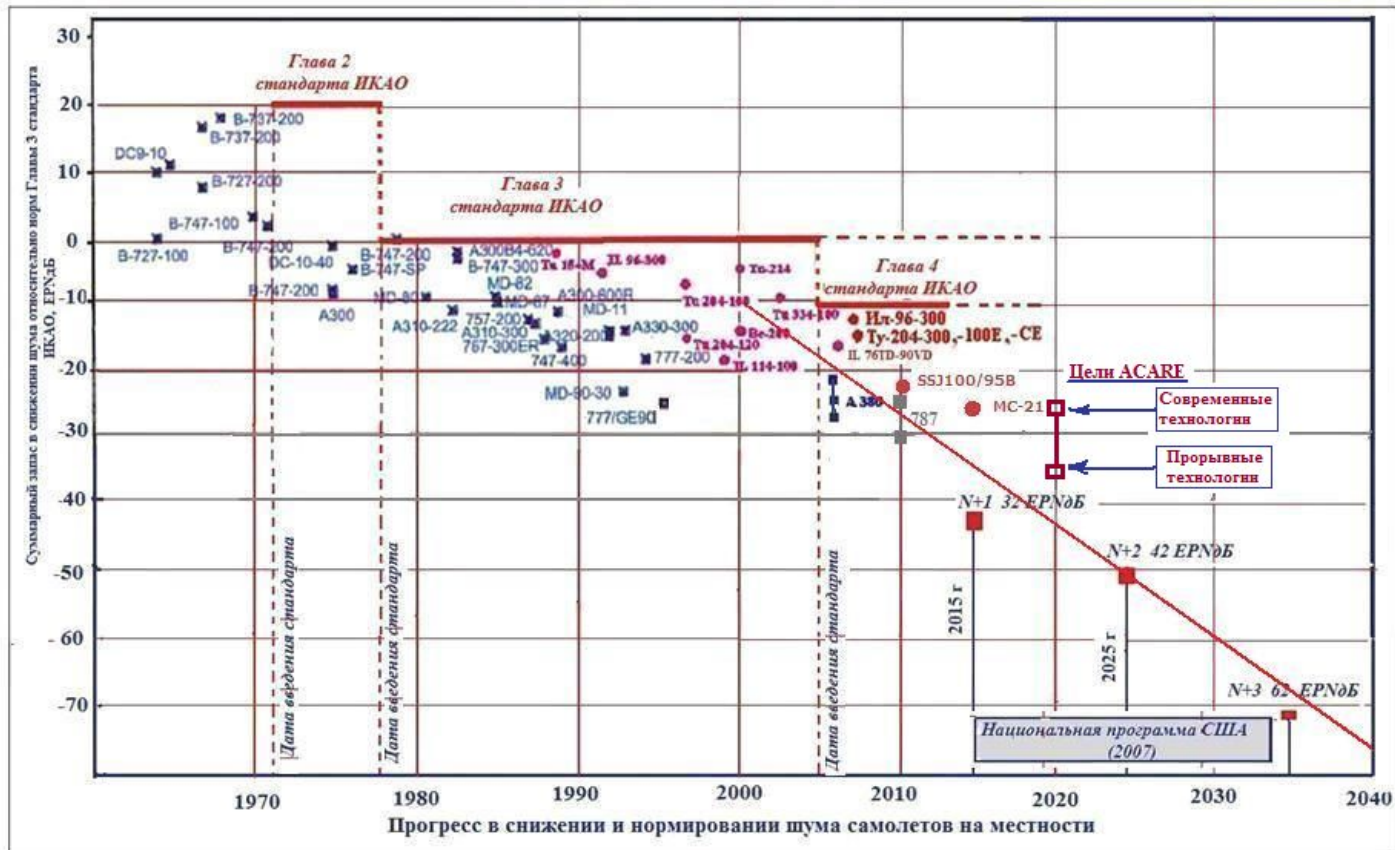
**Международные нормы** разрабатываются в рамках деятельности ИКАО – Международной организации гражданской авиации - с использованием различных технических требований, определенных Международной организацией по стандартизации (ИСО) и Международной электротехнической комиссией (МЭК).

**Национальные технические нормы** шума воздушных судов как правило гармонизированы с международными нормами и существуют в виде отдельных частей к Нормам летной годности воздушных судов (Авиационных правил). В России – это **АП-36**, в США – **FAR-36**, в Европейском Союзе – **CS-36**.





# Самолеты транспортной категории

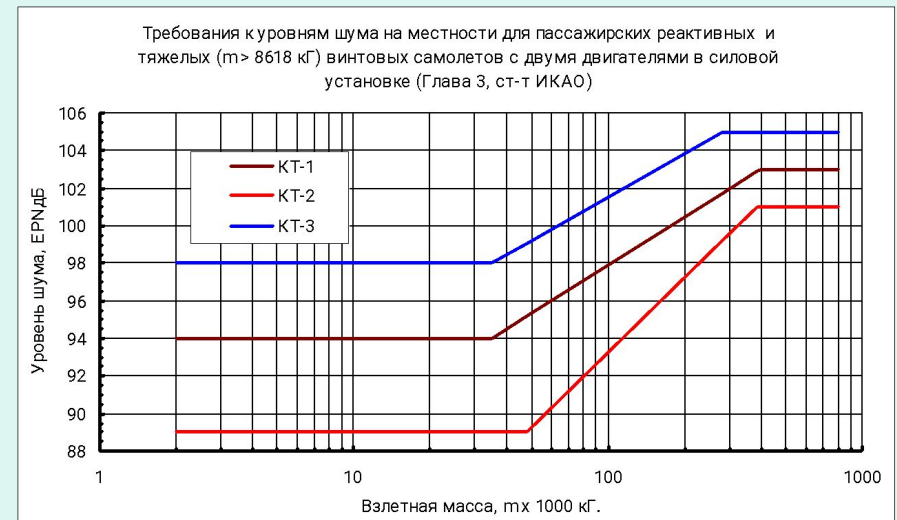
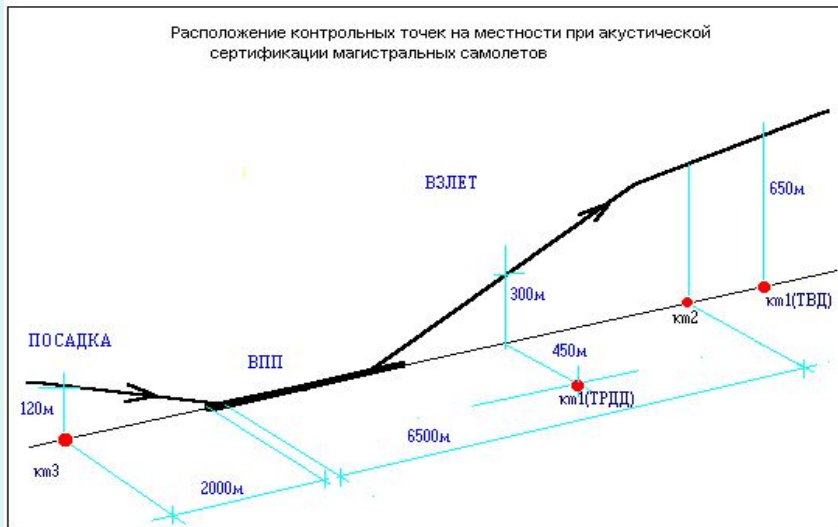


Европарламент и Совет ЕС в 2002г приняли новую Директиву № 2002 / 30 / ЕС в отношении ограничения эксплуатации реактивных самолетов с двигателями с низкой степенью двухконтурности.

Директива устанавливает новый порядок введения ограничений на эксплуатацию на территории стран – членов ЕС любых реактивных самолетов, уровни шума которых соответствуют требованиям норм Главы 3 стандарта ИКАО с запасом не более 5 EPNdB. Эти самолеты именуется в Директиве как воздушные суда " с малым запасом по соответствию".

# НОРМЫ ШУМА ИКАО

## Самолеты транспортной категории

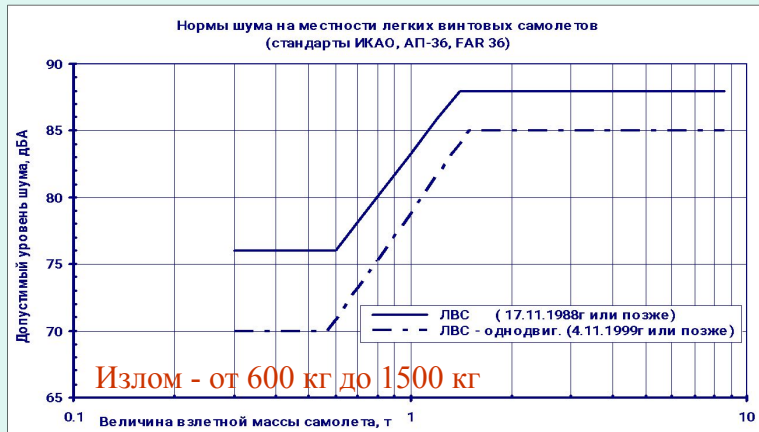


**Нормы Главы 4 жестче норм Главы на 10 EPNdB в сумме по трем контрольным точкам на местности. При этом действуют следующие ограничения:**

- ни в одной из контрольных точек уровень шума не может быть ниже величины, определяемой нормами Главы 3;
- величина запаса относительно норм Главы 3 по любым двум контрольным точкам должна быть не менее 2-х EPNdB;
- отменено **правило компенсации**, которое действует в нормах Главы 3 и в соответствии с которым допускается превышение уровня шума самолета над нормой в одной (до 2-х EPNdB) или одновременно в двух контрольных точках (до 3-х EPNdB) при компенсации этого превышения за счет соответствующего снижения уровня шума в других точках.

# НОРМЫ ШУМА ИКАО

## Винтовые самолеты легкие и комьютерной категории (Главы 6, 10)



К данной категории ЛА относятся все самолеты с винтовыми двигателями, величина взлетной массы которых не превышает величины **8620кГ**, за исключением самолетов, специально сконструированных для высшего пилотажа, для использования в сельском хозяйстве или для борьбы с пожарами

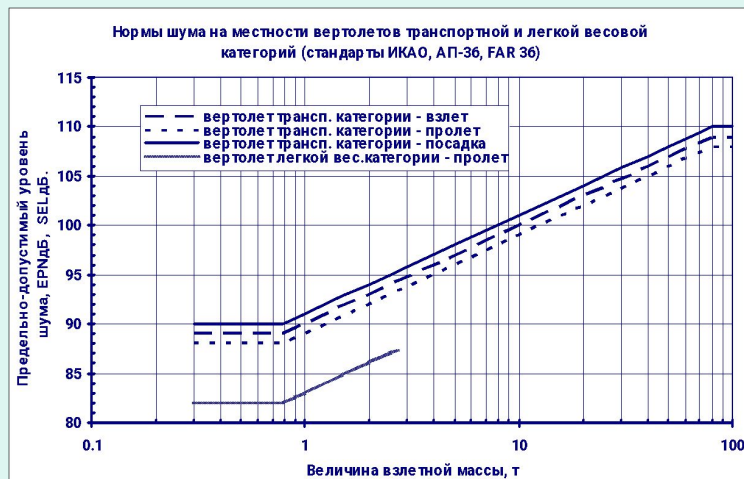
**(а) одно и двухдвигательные самолеты – после 17 .01. 1988г**

Уровень шума определяется при горизонтальном пролете самолета над точкой измерения шума на высоте 300м.

**(б) однодвигательные самолеты – после 4 . 11. 1999г**

Уровень шума определяется для режима взлета самолета в контрольной точке под траекторией взлета на удалении 2500м от линии старта

## Вертолеты транспортной категории и легкие вертолеты (Главы 8 и 11)



К вертолетам легкой весовой категории относятся аппараты, взлетная масса которых не превосходит величины **3175кГ**

Уровень шума на местности вертолета транспортной категории (EPNL ) регламентируется для трех режимов полета - взлета, горизонтального полета на высоте 150м и полета по глассаде захода на посадку

Для вертолета легкой весовой категории уровень шума (SEL) регламентируется для режима горизонтального полета на высоте 150м

# Статистическая оценка уровня шума самолета на МЕСТНОСТИ

В современных стандартах под уровнем шума на местности понимается интервальная оценка математического ожидания случайной величины. Интервальная оценка предполагает определение доверительного интервала, внутри которого для заранее выбранной доверительной вероятности (надежности) находится оцениваемый параметр. Оценка математического ожидания (M) величины уровня шума самолета при малых объемах выборок и при неизвестной дисперсии случайной величины производится на основе t - распределения Стьюдента

$$Y - t_{k,p} \frac{S}{\sqrt{n}} < M < Y + t_{k,p} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

где  $t_{k,p}$  - параметр распределения Стьюдента для  $k = n - 1$  степеней свободы и заданной доверительной вероятности  $P = 1 - \alpha / 2$ ,

$\alpha$  - уровень значимости,

$n$  - объем локальной выборки,

$S$  - оценка среднеквадратичного отклонения для условного среднего значения случайной величины "  $y$ ".

$$d = \pm t_{k,p} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Существующими стандартами установлено, что при оценке уровня шума самолета доверительная вероятность интервальной оценки должна быть равна 0,9 (90 %), объем локальной выборки уровней шума равен  $n \geq 6$ , а величина доверительного интервала не должна превышать значения  $d = \pm 1,5$  EPN ДБ. Только при выполнении этих ограничений условный средний эффективный уровень шума самолета EPNL является представительной величиной и может сопоставляться с действующими нормами

# Единицы оценки уровней шума ВС на местности

## Эффективный уровень воспринимаемого шума (EPNL)

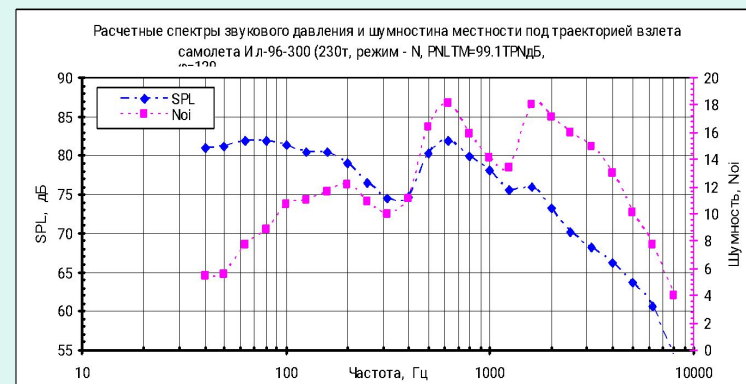
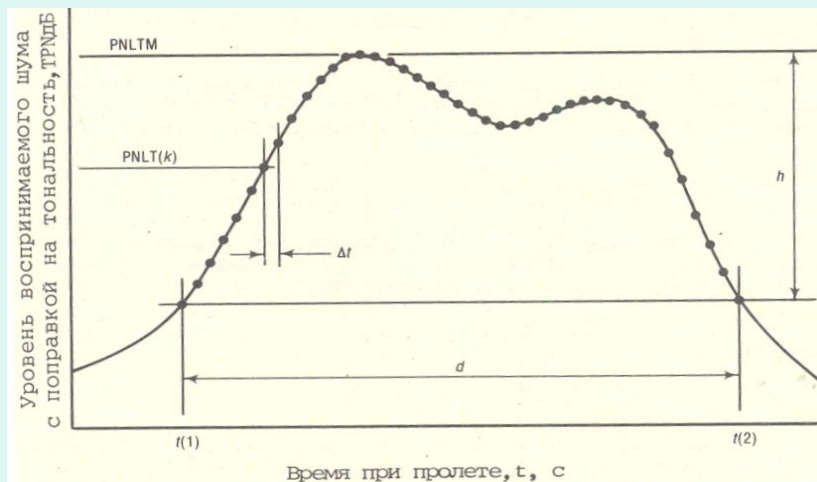
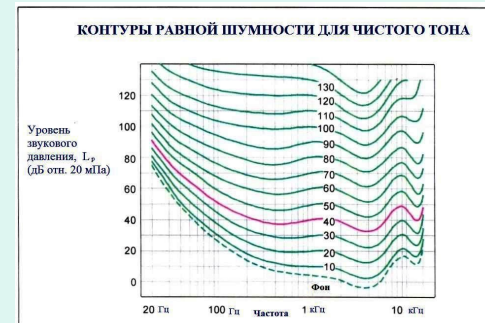
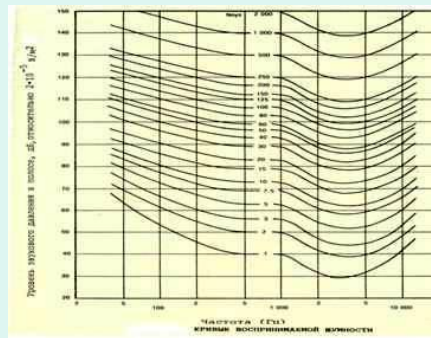
$$EPNL = PNLTM + D,$$

$$PNLT(k) = PNL(k) + C(k),$$

$$PNL(k) = 40,0 + 33,22 \lg N(k),$$

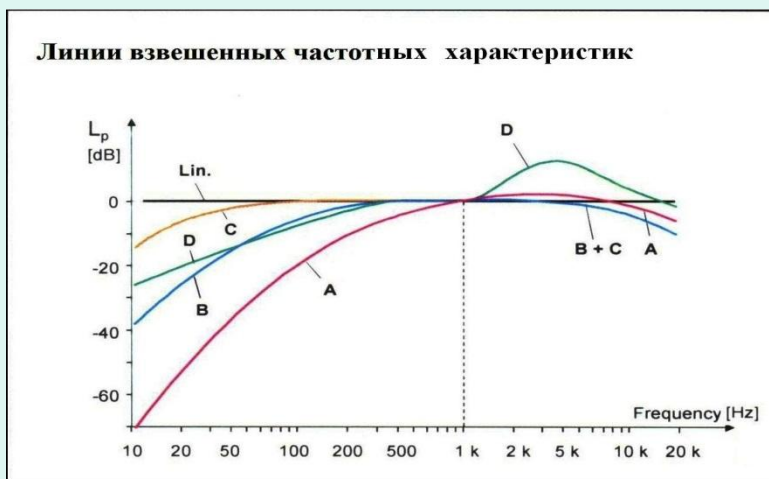
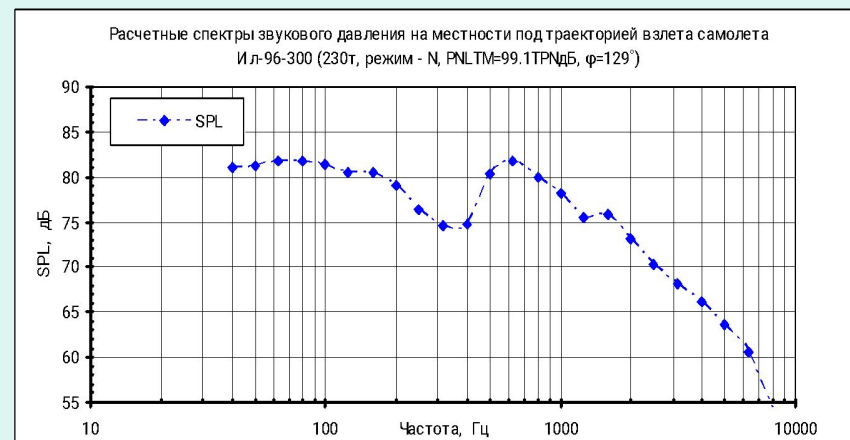
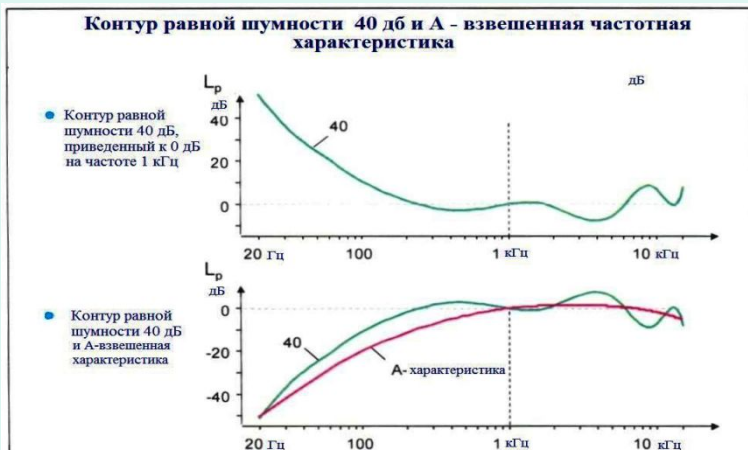
$$N(k) = 0,85 n(k)_{\max} + 0,15 \sum_{i=1}^{24} n(i, k)$$

$$D = 101g \left[ \frac{1}{T} \int_{t(1)}^{t(2)} \text{antilg} \left( \frac{PNLT}{10} \right) dt \right] - PNLTM$$



# Единицы оценки уровней шума ВС на местности

## Максимальный взвешенный уровень звукового давления (LA)



$L_A$ , дБА – максимальный суммарный по спектру уровень звукового давления, скорректированный по шкале «А» стандартного шумомера. Метод частотного взвешивания учитывает разную чувствительность человеческого уха к звуку различной частоты.

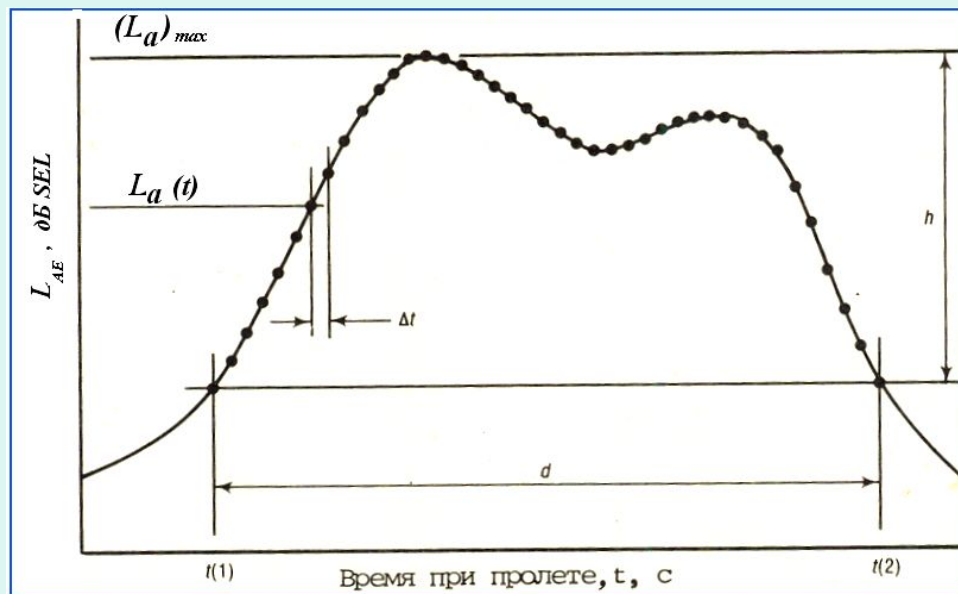
# Единицы оценки уровней шума ВС на местности

## Уровень звукового воздействия (SEL)

Уровень звукового воздействия  $L_{AE}$  соответствует интегрированному за данный период времени квадрату звукового давления, скорректированному по шкале "A", по отношению к квадрату стандартного порогового звукового давления ( $p_0$ ), и исходной продолжительности в 1 секунду

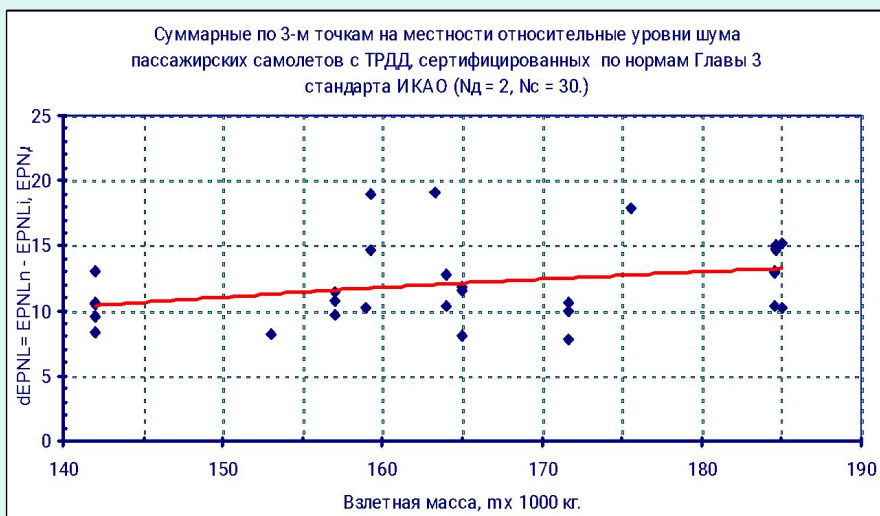
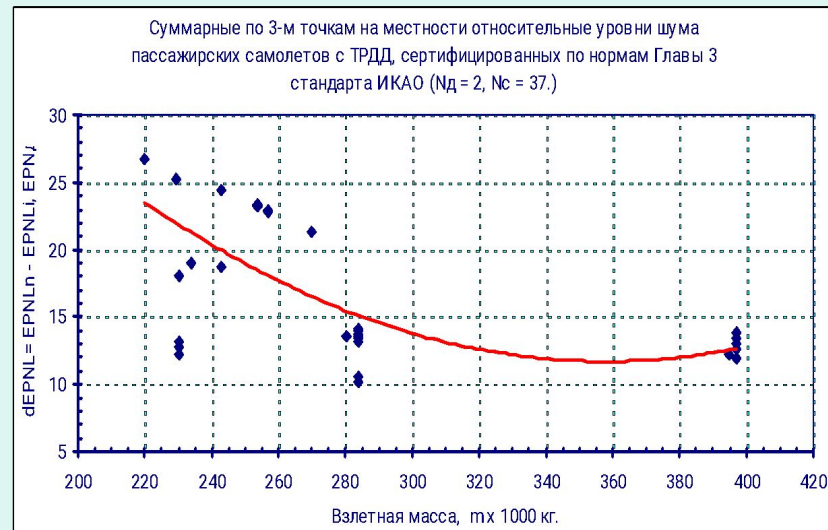
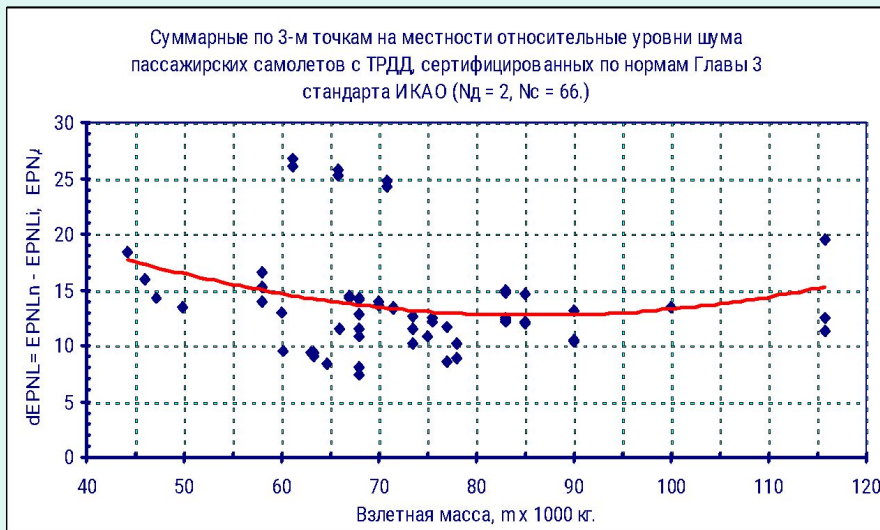
$$L_A = 10 \lg \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt$$

$$L_{AE} = 10 \lg \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \left( 10^{\frac{L_A(t)}{10}} \right) dt$$



$L_A(t)$  - изменяющийся во времени уровень звукового давления, скорректированный по шкале "A". На практике время интегрирования ( $t_2 - t_1$ ) соответствует, как минимум, периоду времени, в течение которого  $L_A(t)$  изменяется на 10 дБА относительно своего максимального значения (рисунок 6, где по оси ординат должна быть отложена величина  $L_A$ ).

# Уровни шума современных магистральных самолетов



**Средняя величина снижения уровней шума относительно норм Главы 3 стандарта ИКАО мирового парка реактивных самолетов, сертифицированных по нормам Главы 3, составляет (в скобках указана величина запаса относительно норм Главы 4 стандарта ИКАО):**

**для диапазона взлетных масс 40÷120т**

**– 13 ÷ 18 EPNдБ (3 ÷ 8 EPNдБ),**

**для диапазона взлетных масс 140÷190т**

**– 10.5 ÷ 13.5 EPNдБ (0.5 ÷ 3.5 EPNдБ),**

**для диапазона взлетных масс 220÷400т**

**– 12 ÷ 24 EPNдБ (2 ÷ 14 EPNдБ).**



# О методах акустической сертификации ВС

Все методы определения соответствия (МОС) подразделяются на две группы:  
стандартные методы и эквивалентные методы

**Стандартные МОС** базируются на летном эксперименте, как основном способе получения данных о шуме базового самолета семейства. Летный акустический эксперимент выполняется для каждого типа летательного аппарата в соответствии с методикой, изложенной в документе ИКАО «Охрана окружающей среды. Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. Том 1, Авиационный шум».

**Эквивалентные МОС** дают возможность получать информацию об акустических характеристиках самолетов, которая по точности и надежности является эквивалентной данным, получаемым с помощью стандартных МОС, и вместе с тем требуют меньших затрат на проведение испытаний.

Рекомендованные в Техническом руководстве ИКАО эквивалентные МОС для дозвуковых реактивных самолетов подразделяются на две группы:

- методы сертификации базового самолета семейства, для реализации которых необходимо проведение летных испытаний,
- метод сертификации модифицированных вариантов семейства, использующий результаты статических наземных испытаний двигателя и результаты летных испытаний базового варианта самолета.

# Важнейшие нормативные документы

- 1 Охрана окружающей среды. Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. Том 1. Авиационный шум. Изд. 5-е, ИКАО, 2010г
- 2 Техническое руководство ИКАО по окружающей среде, регламентирующее использование методик при сертификации воздушных судов по шуму. ИКАО, ДОС. 9501-AN/929, 4-е издание, 2008 г.
- 3 Авиационные Правила. Часть АП-36, Сертификация воздушных судов по шуму на местности. Межгосударственный авиационный комитет, 2003г
- 4 Самолеты пассажирские и транспортные. Допустимые уровни шума, создаваемого на местности. ГОСТ 17228-87
- 5 Самолеты винтовые легкой весовой категории. Допустимые уровни шума, создаваемого на местности, и методы его измерения. ГОСТ 23023-78
- 6 Вертолеты гражданской авиации. Допустимые уровни шума и методы определения уровней шума на местности. ГОСТ
- 7 Двигатели газотурбинные и силовые установки. Акустические характеристики и методы их измерения. ОСТ 100036-84.
- 8 Federal Aviation Regulation, Part 36 : Noise Standarts : Aircraft Type and Airworthiness Certification. FAA.